



## WASTE SIDE STORIES

**La transizione verso un modello economico circolare rappresenta una missione che la realtà politica intende perseguire per ridurre l'impatto antropico sull'ambiente. In questo contesto rientra lo sfruttamento più lungimirante dei rifiuti, tra cui gli scarti lignocellulosici, fonti inestimabili di materiali di interesse chimico-industriale.**

L'aumento della popolazione, il passaggio dal mondo rurale a quello urbano-industriale e la diffusione di stili di vita moderni, improntati sul consumo, hanno provocato l'incremento delle attività produttive con conseguente aumento della richiesta di materie prime e produzione di rifiuti. Il progresso industriale è stato, pertanto, accompagnato da regresso se si riflette sull'attuale gestione dei rifiuti in discarica e le preoccupanti problematiche ambientali e sociali annesse. L'esigenza di avviare una nuova politica industriale finalizzata a salvaguardare l'uomo e l'ambiente è un tema attuale e il mezzo previsto per raggiungere questo fine consiste nella conversione del modello economico lineare in cir-

colare. In Fig. 1 sono rappresentati gli schemi che descrivono i modelli di economia esistenti. L'economia lineare si basa su una successione di eventi che prevedono l'estrazione della materia prima, l'attività produttiva, la distribuzione, il consumo e, a fine vita, lo smaltimento del rifiuto che si è generato e che, non essendo più considerato utilizzabile, viene conferito in discarica. Tale modello si fonda principalmente sull'uso di risorse fossili non rinnovabili, come il petrolio, il gas naturale e il carbone, la cui disponibilità è prevista fino al 2112, costituendo l'unica fonte fossile residua dopo il 2042 [1].

L'economia circolare, invece, secondo la definizione della Ellen MacArthur Foundation è un termine generico per definire un'economia pensata per potersi rigenerare da sola [2]. L'economia circolare si basa sul Piano di azione 3R, ovvero ridurre, riusare e riciclare, contenente una serie di azioni volte a migliorare la produttività delle risorse, a sostituire i materiali a fine vita alle materie prime non rinnovabili e a reintegrarli nei processi produttivi in uno schema circolare chiuso. Nell'ottica della politica industriale questo modello può essere applicato a monte, se si tratta di gestire le risorse in modo più efficiente, riducendo gli sprechi e mantenendo il più possibile il valore dei prodotti, e a valle, se si evita di smaltire in discarica tutto ciò che possiede ancora una qualche utilità per recuperarlo e reintrodurlo nel sistema economico.

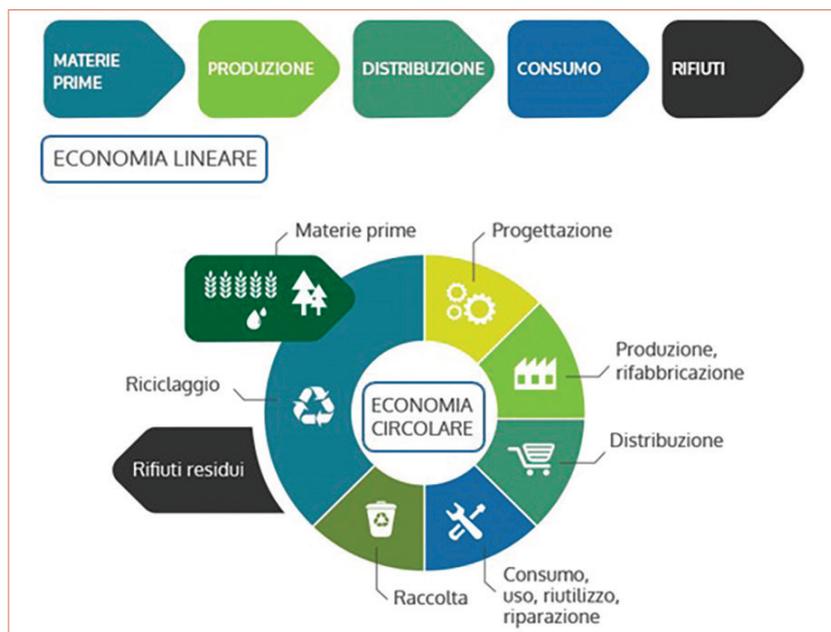


Fig. 1 - Schemi di economia lineare e circolare

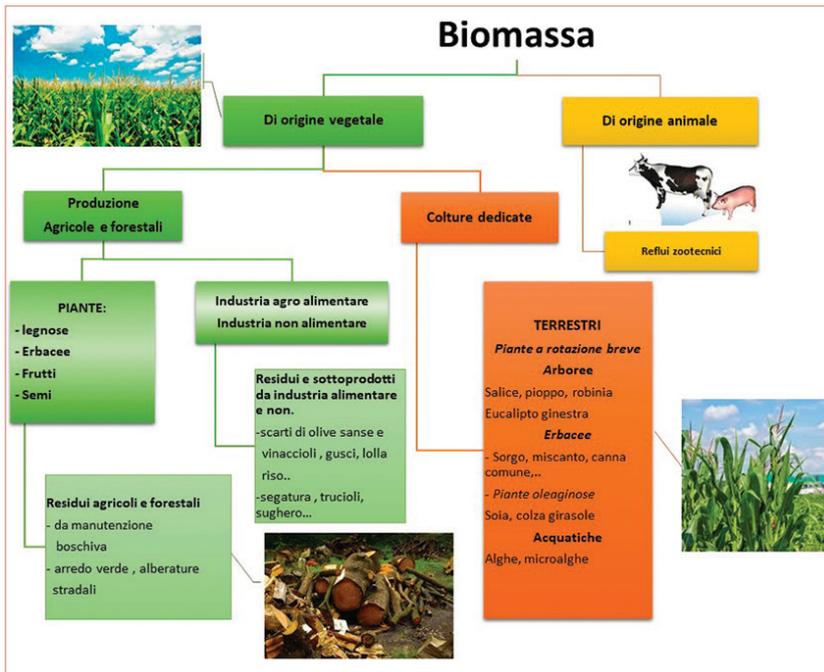
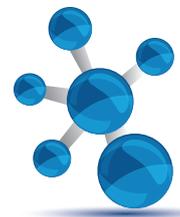


Fig. 2 - Classificazione delle biomasse

L'Europa, in questo contesto, ha presentato un pacchetto di misure sull'economia circolare il 2 dicembre 2015 [3]. Il pacchetto prevede un Piano d'azione con proposte che partono dalla produzione fino alla gestione dei rifiuti. Le misure adottate sono volte a incentivare la riconversione di rifiuti in risorse per ridurre le emissioni di gas serra, a promuovere il risparmio di energia nei settori alimentare, delle costruzioni e demolizioni e a favorire gli impianti a biomasse. Cosa sono le biomasse? Si definisce biomassa qualsiasi sostanza di matrice organica, vegetale o animale, che può essere destinata alla produzione di ammendanti o energia [4]. Rientrano, quindi, tra le biomasse i prodotti e i residui delle lavorazioni agricole compresi quelli della silvicoltura, gli scarti agro-alimentari, i residui della lavorazione del legno e della carta, la frazione organica dei rifiuti urbani (Fig. 2).

Le biomasse vegetali rappresentano una parte importante dei prodotti rappresentati in Fig. 2. Si possono suddividere in biomasse

vergini e da rifiuto. Quelle vergini includono tutti i prodotti vegetali che non hanno subito trattamenti chimico-fisici, mentre quelle da rifiuto comprendono i sottoprodotti dell'agricoltura, come gusci/bucce di noci o frutti, scarti della produzione agricola di riso, canna da zucchero e frumento, i rifiuti dell'industria del legno e cartaria come segatura e lignine, gli scarti domestici, della manutenzione degli spazi verdi e, infine, gli scarti dalle coltivazioni energetiche dedicate, tipicamente di sorgo, cardo, miscanto, canna comune e/o jatropha.

La componente comune della maggior parte delle biomasse vegetali, sia vergini che da rifiuto, è la lignocellulosa. La biomassa lignocellulosica, per l'abbondanza con cui è presente sulla Terra e la composizione chimica di notevole interesse, rientra tra le più promettenti risorse rinnovabili naturali, a basso costo, da poter impiegare in sostituzione delle risorse fossili in esaurimento.

In Fig. 3 è riportato uno schema che illustra la localizzazione cellulare della biomassa lignocellulosica nella conformazione strutturale delle cellule vegetali. Le cellule vegetali sono esteriormente circondate da una parete cellulare, distinta in primaria e secondaria. La parete primaria assolve le funzioni meccaniche e strutturali, di regolazione delle pressioni

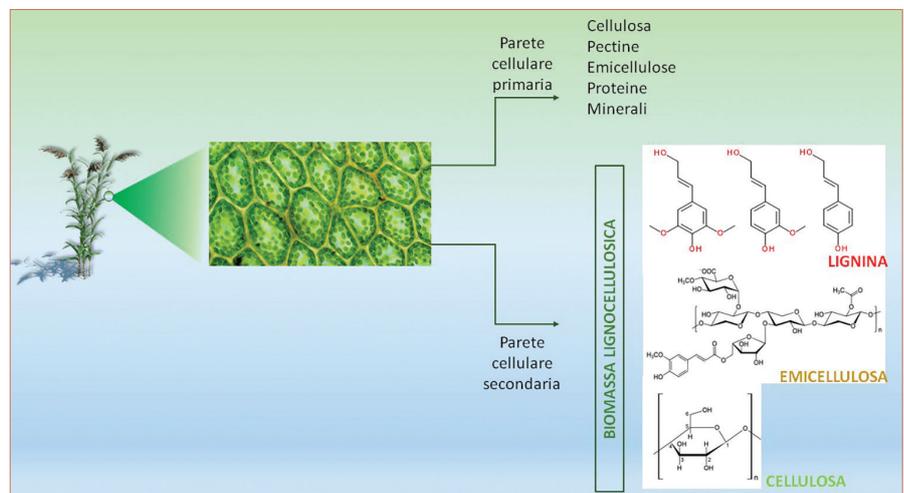


Fig. 3 - La biomassa lignocellulosica nelle cellule vegetali

osmotiche interne, di comunicazione chimica con il materiale extracellulare e di riserva zuccherina. Date le sue caratteristiche funzionali è ricca di polisaccaridi tra cui cellulosa, emicellulosa e pectine, proteine strutturali ed enzimatiche.

La parete secondaria si genera nella fase di differenziamento cellulare in quegli organismi vegetali superiori che sviluppano crescita verticale. Le funzioni che la parete secondaria assolve sono strettamente correlate alla sua composizione chimica, principalmente a base di biomassa lignocellulosica.

Entrando nella struttura intima della biomassa lignocellulosica, le principali componenti polimeriche sono cellulosa, emicellulosa e lignina.

La cellulosa è un omopolisaccaride del glucosio costituito da unità D-glucopiranosiche unite tramite legami  $\beta$ -1,4-glicosidici. La cellulosa è organizzata in catene lineari parallele le une alle altre e collegate attraverso legami a idrogeno. Questa organizzazione è prevalentemente cristallina e, in quanto tale, rappresenta l'elemento di rinforzo della biomassa. Interconnessa alla cellulosa vi è l'emicellulosa che consta di una struttura ramificata costituita da eteropolisaccaridi a base di pentosi, esosi ed acidi uronici, quali xilosio, arabinosio, glucosio, mannosio, galattosio, acido glucuronico. La composizione varia notevolmente in base all'origine botanica del materiale; nel caso dei prodotti legnosi è a base xilanicca nei legni duri e mannanica nei legni dolci. L'emicellulosa costituisce una riserva energetica della parete e favorisce la crescita cellulare, regolandone il tasso di estensione.

Stabilità termica, rigidità e gestione dei flussi idraulici sono proprietà e funzioni espletate tipicamente dalla lignina, che è legata in maniera covalente con l'emicellulosa. La lignina è una macromolecola complessa la cui struttura è data dalla ripetizione di tre monolignoli, definiti come alcool

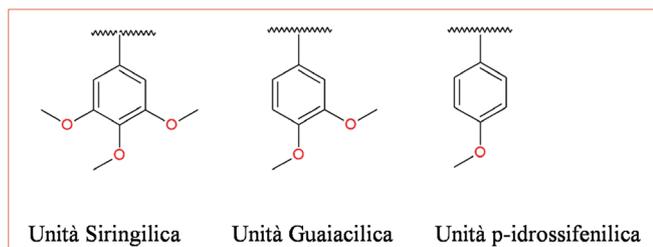


Fig. 4 - Unità costitutive della lignina

Fonte	Cellulosa	Lignina	Emicellulosa	Ceneri
Miscanto	37-45	17-21	19-25	1-3
Pino	25-42	18-26	21-30	0,3-2
Pioppo	31-55	18-25	24-40	1-4

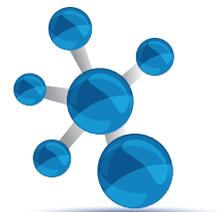
Tab. 1 - Composizione lignocellulosica di alcune piante (espressa in % p/p)

coniferilico, sinapilico e *p*-cumarilico che danno origine rispettivamente a unità guaiaciliche, siringiliche e *p*-idrossifeniliche (Fig. 4). Tali unità sono interconnesse da legami etere, estere e da condensazioni tra anelli aromatici.

Data l'eterogeneità strutturale della lignina e dell'emicellulosa esistono sostanziali differenze tra biomasse lignocellulosiche tanto da non poter parlarne come di un prodotto univoco. Inoltre, le biomasse lignocellulosiche variano anche in base all'origine vegetale della specie, alla zona geografica dove sono prodotte, alle condizioni climatiche e ai tempi di raccolta e stoccaggio.

In Tab. 1 sono riportati i valori percentuali di cellulosa, lignina, emicellulosa e ceneri presenti in tre specie vegetali: il miscanto, il pino e il pioppo, che rappresentano, rispettivamente, un'erba perenne, un legno dolce e un legno duro [5]. Dai dati presentati si evince come la quantità delle tre componenti strutturali sia fortemente influenzata dalla provenienza vegetale.

Nel sud dell'Europa è comune riscontrare quantità significative di scarti solidi a base lignocellulosica da lavorazioni agroindustriali, come stralci di potatura di ulivi, viti ed alberi da frutto, noccioli di olive, residui di coltivazione e trasformazione dei pomodori e degli agrumi. Grandi quantità di biomasse lignocellulosiche da rifiuto sono prodotte anche nel resto del mondo. In Sudamerica, in particolare in Brasile, sono prodotte circa 298 milioni di tonnellate di scarti dalla lavorazione del riso, canna da zucchero, soia e grano [6]. In questo Paese, le strutture più innovative dedicate alla valorizzazione delle biomasse di scarto o da colture dedicate sono le bioraffinerie, che consistono in impianti industriali in cui si ricava energia, biocarburanti, bioprodotto e/o foraggio a partire da materie prime rinnovabili. La bioraffineria integra processi chimici e biologici



per la conversione della biomassa e la produzione di prodotti ad alto valore aggiunto per l'industria o di *building blocks* destinati a ulteriori trasformazioni chimico-fisiche o biologiche.

Le bioraffinerie possono essere classificate in impianti di I, II e III generazione, sulla base

della materia prima rinnovabile che impiegano nel processo produttivo. Le prime e più diffuse sono quelle di I generazione che ricorrono a biomasse a base amidacea come il mais. Questi impianti utilizzano materie prime appartenenti alla filiera alimentare; ciò è stato ritenuto eticamente scorretto tanto da sollevare numerose proteste dal mondo del *food*. Sulla base di queste rimostranze, sono state proposte e sviluppate le bioraffinerie di II generazione, basate sulla valorizzazione di biomasse lignocellulosiche da rifiuto come paglia, scarti agro-forestali e della silvicoltura. Le bioraffinerie di III generazione prevedono, invece, l'utilizzo delle microalghe.

Il primo impianto di bioraffineria lignocellulosica nato in Italia è stato quello di Crescentino (VC) in Piemonte, inaugurato nel 2013 da una collaborazione tra Biochemtex, la società di ingegneria del gruppo chimico Mossi & Ghisolfi, e Novozymes, azienda danese leader nelle biotecnologie. Attualmente questa struttura è di proprietà di Eni Versalis che l'ha rilevata dopo il fallimento del gruppo Mossi & Ghisolfi avvenuto nel 2017.

Nella bioraffineria di Crescentino il processo produttivo si basa sulla tecnologia Proesa® (Fig. 5) che consta di quattro fasi principali: pretrattamento tramite *steam explosion*, volto a destrutturare la biomassa lignocellulosica, idrolisi enzimatica combinata simultaneamente o meno a fermentazione alcolica per la saccarificazione della cellulosa e la produzione del bioetanolo, distillazione e recupero degli scarti per alimentare energeticamente l'impianto.

In generale, la biomassa lignocellulosica è caratterizzata da una complessa e fitta rete in cui le componenti polimeriche sono strettamente interconnesse tra loro. Pertanto, lo sfruttamento economico della biomassa, con conseguenti recupero e valorizzazione, sono correlati ai trattamenti di frazionamento ed estrazione delle singole componenti ligniniche e polisaccaridiche. In questo contesto, uno stadio importante del processo illustrato è il pretrattamento

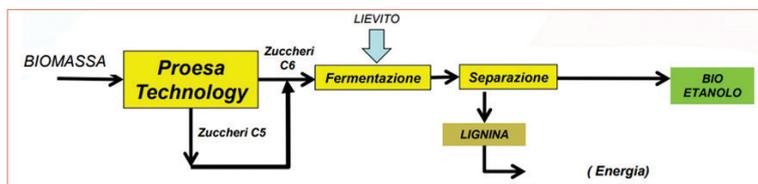


Fig. 5 - Schema del processo Proesa®

tramite *steam explosion*, che permette di destrutturare il materiale, rompere l'intima interconnessione tra le sue componenti e superare la recalcitranza delle lignocellulose verso la conversione in prodotti di più alto valore aggiunto.

Un aspetto del processo descritto in Fig. 5 degno di interesse è la presenza di un *side stream* costituito da un materiale di scarto definito lignina che è sottoposto a combustione per ricavare energia. Molti studi si sono focalizzati sulla valorizzazione alternativa di tale sottoprodotto. Alcuni di questi sono stati svolti in collaborazione tra il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) di Pozzuoli e il Centro Ricerche sulle Biomasse (CRB) dell'Università di Perugia con l'intento di individuare processi a basso impatto economico e ambientale per la riconversione di uno scarto in un nuovo materiale [7, 8]. In particolare è stato analizzato il recupero della lignina dal processo Proesa® che, in seguito ad opportuna caratterizzazione, è stata utilizzata come filler nella preparazione di compositi a matrice di poli(3-idrossibutirrato) (PHB). Quest'ultimo è un polimero di origine microbica dalle proprietà simili a quelle di alcuni polimeri sintetici, come il polipropilene, ma poco sfruttato per l'elevato costo. Da tale indagine sono stati ricavati film di compositi a matrice polimerica naturale da poter applicare nei settori del *packaging* e dell'agricoltura in sostituzione degli attuali sintetici.

In Fig. 6 sono mostrate le evidenze della caratterizzazione svolta sullo scarto del processo di produzione del bioetanolo di II generazione ottenuto in un impianto pilota presente al CRB di Perugia. In particolare sono riportati una micrografia ottenuta tramite microscopia elettronica a scansione (SEM) e gli spettri al <sup>13</sup>C CP-MAS NMR dello scarto definito LC, confrontato con una lignina estratta tramite processo commerciale alcalino (AL) [7].

Dall'immagine SEM dello scarto LC, si riscontra una morfologia eterogenea con sferoidi e fibre di proba-

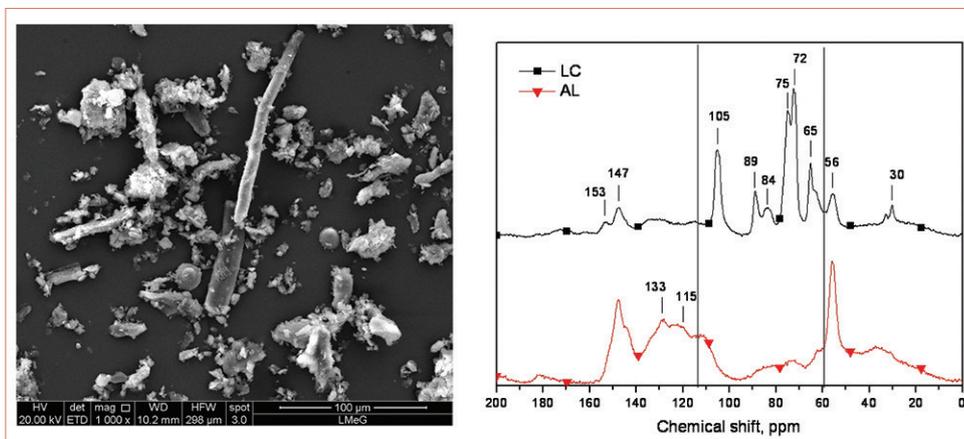


Fig. 6 - A sx, micrografia SEM; a dx, <sup>13</sup>C CP-MAS NMR dello scarto lignocellulosico (LC) e della lignina alcalina (AL)

bile natura ligninica e polisaccaridica, rispettivamente. Invece, la spettroscopia <sup>13</sup>C CP-MAS NMR fornisce un'indicazione precisa della presenza di segnali di risonanza tipici dell'anello glucopiranosico della cellulosa, contraddistinti dall'area riquadrata nel grafico, compresa tra 160 e 110 ppm, e che mancano nello spettro della lignina alcalina. Si deduce, quindi, che il processo Proesa<sup>®</sup> produce un *side stream*, misto di lignina e frazione polisaccaridica, a dispetto di un processo commerciale, come quello alcalino, che fornisce una lignina maggiormente pura.

Data questa evidenza, lo scarto lignocellulosico è stato frazionato in olocellulosa (cellulosa ed emicellulosa) e lignina. Le singole frazioni polimeriche sono state utilizzate come filler nel PHB. Dalla caratterizzazione delle miscele è emerso che l'olocellulosa agisce da nucleante verso la matrice favorendo il fenomeno di cristallizzazione da fuso; la lignina, invece, produce un aumento del modulo elastico, misurato mediante prove tensili, e della viscosità complessa del polimero, analizzata mediante test reologici [8]. Risultati, questi, che hanno posto in evidenza le potenzialità delle componenti lignocellulosiche come agenti nucleanti, rinforzanti e modificanti reologici in un polimero microbico.

Al fine di ottimizzare l'efficienza del frazionamento delle biomasse lignocellulosiche sono stati proposti diversi metodi. Tra questi, di particolare rilevanza i processi *organosolv*, che si basano sul trattamento della

biomassa con solventi o acidi organici, per ottenere un maggior rendimento in cellulosa, e recuperare, a fine processo, un *side stream* ligninico più puro e più facilmente valorizzabile [9]. Tuttavia, questi trattamenti prevedono l'utilizzo di autoclavi ad alta pressione e di solventi nocivi per l'uomo e l'ambiente il cui recupero non è agevole. Al fine di migliorare la tecnologia *organosolv*, è stata investi-

gata una tecnica di estrazione, a valle del pretrattamento di *steam explosion*, basata sull'utilizzo di solventi organici *green* assistita da un trattamento termico non convenzionale basato sulle microonde (SE-MAE) come riportato in Fig. 7.

Nel caso specifico una biomassa lignocellulosica di *Phragmites australis*, canna lacustre, è stata sottoposta ad un trattamento di *steam explosion* in un impianto pilota a 222 °C per 7,3 min. Il liquor contenente emicellulosa e prodotti saccaridici di degradazione è stato separato dalla frazione insolubile contenente a sua volta lignina e cellulosa. La frazione insolubile, previo lavaggio in acqua a 50 °C, è stata sottoposta a estrazione con  $\gamma$ -valerolattone (GVL) in un rapporto solido/liquido pari a 1/10 peso/

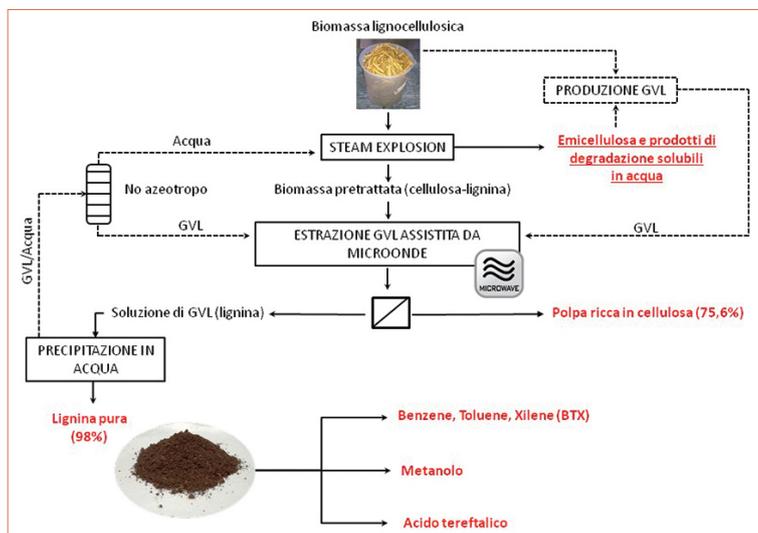
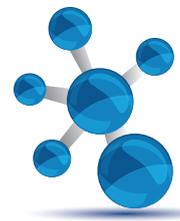


Fig. 7 - Schema SE-MAE



volume in un forno a microonde a 200 °C per 30 min. La frazione solida contenente cellulosa è stata separata dal liquor e utilizzata nella fase di idrolisi enzimatica per il processo di produzione del bioetanolo. La soluzione di GVL è stata trattata con acqua per far precipitare e recuperare la lignina [10].

Il processo descritto gode di diversi vantaggi elencati di seguito:

- recupero di circa il 78% di lignina con purezza pari al 98%;
- utilizzo del GVL, solvente green, riciclabile e da fonti rinnovabili;
- assenza di additivi chimici;
- utilizzo delle microonde con riduzione del consumo energetico e possibilità di operare in ambienti chiusi più controllabili;
- riduzione dei tempi di reazione;
- riciclo del GVL.

La lignina recuperata è più processabile dello scarto lignocellulosico proveniente dal processo Proesa® e può essere destinata ad assolvere la funzione di filler in matrici polimeriche o di *building block* per la produzione di benzene, toluene, xilene, acido tereftalico, metanolo e altre molecole di interesse chimico-industriale [11].

Inoltre, la soluzione ligninica in GVL può essere utilizzata come mezzo di reazione per sottoporre la lignina a modifiche chimiche in un singolo stadio senza perdite né consumo di mezzi estrattivi.

Al pari della lignina, l'emicellulosa proveniente dal processo proposto rappresenta una miniera di molecole di interesse industriale recuperabili per estrazioni chimiche [12]. Nel 2004 il Dipartimento di Energia degli Stati Uniti (DOE) ha identificato quindici sostanze chimiche, definite *building blocks*, recuperabili dalla conversione della frazione polisaccaridica della biomassa lignocellulosica e utili per l'ottenimento di biomolecole di interesse chimico-industriale [13].

Tra queste si annoverano l'acido succinico, l'acido malico, l'acido fumarico, l'acido 2,5-furandicarbossilico (2,5-FDCA), l'acido 3-idrossipropionico (3-HP), l'acido aspartico, l'acido itaconico, l'acido levulinico,

il glicerolo, il sorbitolo, lo xilitolo, l'arabinitolo, l'acido glutammico e l'acido glucarico. In Fig. 8 sono riportate alcune sostanze che possono essere ottenute dagli zuccheri a C5 e C6 ricavati dal trattamento della biomassa lignocellulosica.

A titolo di esempio dalla disidratazione del fruttosio è possibile ricavare 5-idrossimetilfurfurale (5-HMF), che, in seguito a reazione di ossidazione, conduce alla formazione di 2,5-FDCA. Questo prodotto, è una delle quindici sostanze identificate dal DOE come *building block* perché può sostituire l'acido tereftalico nella sintesi dei poliesteri aromatici fossili come il polietilentereftalato, fornendone un'alternativa rinnovabile, il polietilenfuranoato (PEF) [14].

Anche gli acidi organici come l'acido succinico, malico, aspartico, levulinico e fumarico rientrano tra i *building blocks* secondo il DOE grazie alle numerose possibilità di impiego come agenti anti-microbici, tensioattivi, additivi alimentari e precursori di polimeri [15]. Il gruppo Novamont, leader nello sviluppo e nella produzione di bioplastiche e *biochemicals*, produce bio-butandiolo (1,4 BDO) da acido succinico nell'impianto Mater-Biotech a Bottrighe (RO). Il 1,4 BDO è generalmente prodotto da fonti fossili e costituisce un solvente, ma anche un intermedio chimico nella produzione di fibre poliestere e poliuretaniche per plastiche utilizzate nei settori tessile, elettronico, auto, imballaggi. Novamont, invece, da una collaborazione con una società americana leader nella bioingegneria, Genomatica, ha sviluppato un processo biotecnologico per la produzione di bio-1,4 BDO [16]. Microrganismi ingegnerizzati della

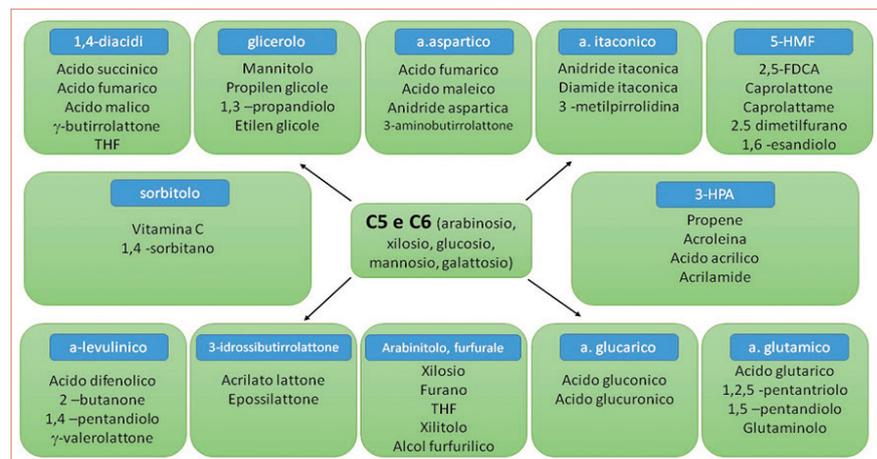


Fig. 8 - Molecole ricavabili dalla frazione zuccherina della biomassa lignocellulosica

specie *E. coli* fermentano il glucosio da biomassa amidacea o lignocellulosica in succinato, che è poi trasformato in acido succinico per protonazione. L'acido succinico è, quindi, sottoposto a idrogenazione per ottenere bio-1,4 BDO. L'intero impianto è concepito per riutilizzare i sottoprodotti che si generano dalla lavorazione, come le cellule microbiche che, dopo essere state disattivate, sono utilizzate per la produzione di biogas in modo da soddisfare il fabbisogno energetico dell'impianto stesso.

L'acido polilattico (PLA) è un noto polimero biodegradabile e compostabile ricavato dalla polimerizzazione di un composto chimico, l'acido lattico, che può essere ricavato dal sorbitolo o dallo xilitolo, altri *building blocks* ottenuti dalla saccarificazione di amido, cellulosa o emicellulosa. Il PLA è utilizzato nel settore biomedicale e, sotto forma di fibre o schiume, come riempitivo strutturale in settori meno nobili come l'abbigliamento tecnico e degli imballaggi. Di recente, il PLA è stato utilizzato da Unilever come rivestimento interno impermeabile di vaschette di gelato realizzate in cartone PFEC. Il PLA rende la vaschetta biodegradabile e compostabile e questo si traduce nella possibilità di smaltirla nella frazione organica dei rifiuti o nella carta nel pieno rispetto dell'ambiente e dell'economia circolare.

## Conclusioni

Le biomasse vegetali sono risorse naturali e rinnovabili dalle quali si possono ricavare molecole e composti chimici in ottemperanza ai principi dell'economia circolare e della chimica verde. In particolare, la biomassa lignocellulosica funge sia da materia prima che da bioscarto nelle bioraffinerie, consentendo la messa a punto del Piano d'azione basato sulle 3R. Tuttavia, la sostituzione delle biomasse amidacee con biomasse lignocellulosiche e lo *scale up* industriale del processo di conversione in sostanze ad alto valore aggiunto richiede una forte collaborazione tra scienza e ingegneria congiuntamente ad una migliore comprensione della fattibilità economica dell'intera *supply chain*.

Con questo contributo si dimostra che un utilizzo sapiente delle lignocellulose può renderle valide alternative alle risorse fossili, il cui tempo sulla Terra sta scadendo a causa dell'abuso da parte dell'uomo.

## Ringraziamenti

Si ringrazia il Centro Ricerche sulle Biomasse dell'Università di Perugia per la collaborazione tecnico-scientifica nell'attività di ricerca i cui risultati sono discussi nel presente contributo.

## Bibliografia

- [1] R. Liguori, V. Faraco, *Bioresour. Technol.*, 2016, **215**, 13.
- [2] <https://www.economiccircolare.com/cose-leconomia-circolare/>
- [3] [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/IP\\_15\\_6203](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/IP_15_6203)
- [4] M. Fantini, *Biorefineries*, Lecture Notes in Energy, Springer Cham, 2017, **57**, 21.
- [5] N. Sorek, T.H. Yeats *et al.*, *BioScience*, 2014, **64**(3), 192.
- [6] Z. Guo, N. Yan *et al.*, *Curr. Opin. Chem. Engin.*, 2019, **26**, 148.
- [7] S. Angelini, P. Cerruti *et al.*, *Int. J. Biol. Macromol.*, 2014, **71**, 163.
- [8] S. Angelini, P. Cerruti *et al.*, *Europ. Pol. J.*, 2016, **76**, 63.
- [9] F. Avelino, K.T. Silva *et al.*, *Bioresour. Technol. Rep.*, 2019, **7**, 100219.
- [10] S. Angelini, D. Ingles *et al.*, *J. Clean. Prod.*, 2017, **151**, 152.
- [11] H. Luo, M.M. Abu-Omar, *Encycl. Sustainable Technol.*, 2017, **3**, 573.
- [12] T. Werpy, G. Petersen, *U.S. Department of Energy*, 2004, 1.
- [13] <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35523.pdf>
- [14] Y. Taguchi, A. Oishi *et al.*, *Chem. Lett.*, 2008, **37**, 50.
- [15] M. Sauer, D. Porro *et al.*, *Trends Biotechnol.*, 2008, **26**, 100.
- [16] [https://www.soc.chim.it/sites/default/files/chimind/pdf/2012\\_3\\_104\\_ca.pdf](https://www.soc.chim.it/sites/default/files/chimind/pdf/2012_3_104_ca.pdf)

## Waste Side Stories

Transition towards a circular economic model represents a mission that political spheres intend to pursue to reduce the anthropic impact on the environment. This context includes the forward-looking exploitation of wastes, in particular lignocellulosic by-products, priceless source of materials having a chemical-industrial interest.